

Capítulo XIV

Propuestas para un índice de selección en ganado doble propósito

Luís Fabián Yáñez, MSc

INTRODUCCIÓN

Un programa de selección puede llevarse a cabo basado en la evaluación del potencial genético de los animales para una sola característica o bien para varias, aunque en forma independiente del número de características consideradas en el programa de selección. Sus efectos son sobre todo el comportamiento del animal como un sistema y por ende sobre el beneficio económico que genera, lo cual implica que aunque la selección sea con base en una característica, surtirá efecto sobre todas las demás que componen el genotipo del animal (Blake, 1984). En parte, esto se debe a las correlaciones genéticas existentes en lo que podríamos denominar el sistema genético del bovino, las cuales hacen que responda como un todo. Obviamente, el progreso genético en la o las características por las cuales se practica la selección, conocida como respuesta directa, es mayor que la producida en todas las demás o también como una respuesta correlacionada que debido a la falta de intencionalidad y al desconocer su existencia responderán de manera inesperada.

Muchos programas de mejora genética en rebaños bovinos especializados en la producción de leche han sido orientados casi exclusivamente en esa característica, lo cual ha conducido al debilitamiento del genotipo de dicha población. De esa manera, se registra una similar disminución en el comportamiento de características tan importantes como la que se quería mejorar, tales como la tolerancia a infestaciones parasitarias, sobrevivencia en condiciones de alta humedad, limitación en el uso de materias primas fibrosas, por sólo mencionar algunas (Rauw *et al.*, 1998).

En ganadería de carne también ha ocurrido una situación similar. Es obvio que a mayor peso de los animales al sacrificio, mayor serán los ingresos brutos por su venta directa, sin embargo, criadores y genetistas saben que la selección exclusiva por dicha característica no es lo más recomendable. Entre sus consecuencias colaterales se ha observado el incremento del peso adulto, lo que eleva los requerimientos de mantenimiento de las vacas, al igual que se producirán becerros con mayor peso al nacer, lo que promueve la aparición de partos distócicos. En ciertas poblaciones se ha observa-

do un antagonismo genético entre las características de crecimiento y las de producción de leche, es decir, que en definitiva la ganancia neta luego de mejorar exclusivamente por el crecimiento será inferior, incluso a la situación previa (Klosterman, 1972; Dickerson, 1978; Meyer *et al.*, 1994; Lee y Pollak, 2002).

Por tanto, es indispensable tener en cuenta que una intensidad de selección alta por cualquier característica individual tenderá a perjudicar el mantenimiento de la homeostasis del animal, además de los beneficios e implicaciones de la selección multicarácter. Lo anterior sugiere que los programas de mejoramiento genético en la ganadería de doble propósito como en los demás sistemas de producción, requieren de la aplicación tanto de técnicas de evaluación como de la selección para múltiples características (Harris y Newman, 1994). La evaluación multicarácter será discutido en otra sección.

Para la selección simultánea por varias características sólo se conocen dos metodologías tradicionales, la de los niveles independientes de descarte y la del índice de selección; asimismo se sabe que los índices son más eficientes (Hazel y Lush, 1942) pues permiten combinar tanto la información de EVALUACIONES GENÉTICAS de varias características, provenientes de diversas fuentes, como aquellas de los ANÁLISIS ECONÓMICOS respectivos (Hazel, 1943). En el método clásico del índice de selección descrito por Hazel (1943) se incorpora la información que aportan los registros directos del comportamiento fenotípico del animal. Posteriormente se desarrolló la posibilidad de construir índices de selección basados en los valores de cría obtenidos con el modelo animal (Schneeberger *et al.*, 1992).

Respecto al programa de selección de animales para sistemas de doble propósito es indispensable considerar los factores genéticos, como la definición de grupos de mestizajes y el esquema de cruzamiento, entre otros; como también factores no genéticos: identificación, registros, posibilidades reales de los potenciales productivos en el trópico y su influencia sobre el ajuste de programas de alimentación, reproducción y manejo general (Yáñez, 2005).

Las sugerencias descritas a continuación tienen como objetivo demostrar la posibilidad de proponer índices de selección para el mejoramiento genético animal en el sistema doble propósito, de manera que las características incluidas en el objetivo y el criterio, así como sus valores económicos son sólo ejemplos didácticos más que recomendaciones específicas para dicho sistema.

EL MÉTODO DEL ÍNDICE DE SELECCIÓN

Con la metodología del índice de selección la evaluación del mérito del animal se logra por la integración entre las evaluaciones genéticas y los análisis económicos (Hazel, 1943). El objetivo de selección es equivalente a definir el **GENOTIPO AGREGADO (H)**, el cual está referido a expresar la eficiencia económica del mérito genético global del animal en función de las características que la determinan. El genotipo agregado se define como la ecuación que combina los valores genéticos verdaderos de las características de interés ponderadas según su importancia económica relativa, definido por la ecuación siguiente:

$$H = \sum_{i=1}^n G_i \cdot a_i = G_1 \cdot a_1 + G_2 \cdot a_2 + \dots + G_n \cdot a_n$$

Donde:

G_i : Valor genético aditivo verdadero de la i -ésima característica.

a_i : Valor económico de la i -ésima característica.

n : Número de características en el objetivo de selección.

Debido a la acción conjunta de los efectos genéticos y ambientales, así como de una posible interacción, no se puede reconocer directamente el valor genético verdadero de los animales, por tanto tampoco se puede determinar el valor de H para cada individuo, a excepción de las posibilidades de identificar el genotipo para ciertas características a través de las evaluaciones moleculares. Es por ello que la selección de los individuos con los valores más altos de H se debe realizar indirectamente a través del denominado **ÍNDICE DE SELECCIÓN** ó \hat{I} que es una estimación de H dado que son variables altamente correlacionadas. Por tanto, $I \cong \hat{I}$, es decir, que el Índice de Selección es aproximadamente igual a la estimación del Genotipo Agregado.

Las características incorporadas en el Índice de Selección constituyen los criterios de selección, es decir, aquellas características por las cuales se hará selección buscando mejorar las que componen el objetivo de selección. De manera general la ecuación del Índice de selección es:

$$I = \sum_{i=1}^m b_i \cdot X_i = b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + \dots + b_m \cdot X_m$$

Donde:

b_i : Ponderación de la i -ésima característica incluida en el criterio de selección.

X_i : Valor genético estimado de la i -ésima característica incluida en el criterio de selección.

M : Número de características en el criterio de selección.

OBJETIVO DE SELECCIÓN

Como primer paso se requiere la definición del sistema de producción de referencia (Ponzoni y Newman, 1989). En este caso se asume que el sistema doble propósito está conformado por la unidad de producción, bajo la modalidad vaca-maute, con animales de genotipo indefinido (situación que requiere ser investigada), originados por cruzamientos principalmente de las razas Holstein, Pardo Suizo y Brahman, que en gran parte de la cuenca del Lago de Maracaibo se inició con un pie de cría constituido principalmente por animales criollo Limonero, mantenidos en pastizales de gramíneas cultivadas, suministro de mezclas de sales minerales y suplementos estratégicos con diversas fuentes alimenticias (melaza, urea, bloques, residuos de cosecha y subproductos industriales).

Los ingresos provienen de la venta de leche cruda refrigerada y de animales; los costos variables se originan básicamente de la alimentación de las diversas clases de animales que integran el rebaño. Los valores medios y desviaciones estándar para las

características consideradas son las siguientes: producción de leche a los 244 días = 1500 ± 254 litros, en lactancias con duración media de 280 ± 15 días, con un período vacío de 92 ± 30 días, media del peso adulto de las vacas = 420 ± 25 kg, vida productiva = 6 ± 3 años y edad al primer parto aproximada de 38 meses (Yáñez *et al.*, 2006).

En el sistema de producción doble propósito se realizan apareamientos sin un plan de cruzamientos definido, situación que genera una indefinición en el genotipo explotado, impidiendo caracterizar el rebaño desde el punto de vista del potencial productivo. Por tanto se toma un rango amplio de genotipos para cubrir una buena parte de esa variabilidad.

El proceso de selección consiste en escoger los “mejores” animales como los reproductores de la próxima generación; no obstante, sigue habiendo controversia en la definición de ¿animales mejores para qué?; las respuestas serán tan numerosas como productores y profesionales se consulten. Este desacuerdo posiblemente existe por el sesgo que las evaluaciones genéticas han tenido hacia enfoques meramente biológico-productivos, enfoques que excluyen peligrosamente los aspectos económicos, los cuales constituyen la razón fundamental de la ganadería de doble propósito como una empresa de negocios. En tal sentido, el punto de acuerdo para la definición del objetivo de selección debe estar en la búsqueda de maximizar el beneficio económico, resultado de sustraer los gastos a los ingresos, es decir, que el objetivo de selección debe estar integrado por aquellas características cuyo mejoramiento genético produzcan mayor impacto sobre el beneficio económico del sistema (Weller, 1994).

A continuación se presenta un ejercicio para la definición del objetivo de selección, sin intenciones de polemizar sobre la validez de todas las razones para decidir una u otra característica. En principio, el objetivo de selección puede presentarse como un enunciado descriptivo más que como una ecuación matemática, de manera que se indiquen las características que interesa mejorar genéticamente a través de la selección. Para sistemas de producción doble propósito bajo la modalidad vaca-maute, el objetivo de mejoramiento genético animal podría ser el siguiente:

“Escoger los animales que haciendo uso eficiente del recurso pastizal disponible, conduzcan al logro de un beneficio económico óptimo, obtenido por la mejor relación de ingresos en la venta de sus productos y costos generados”

En este objetivo, descrito como una gran visión del programa de mejora genética, se puede evidenciar que interesa seleccionar los animales que cumplan, entre otros aspectos, con lo siguiente:

1. Adaptación a condiciones de pastoreo, eso es, que su comportamiento de alimentación esté basado en el pastoreo, bajo condiciones características de temperatura y humedad y que su potencial productivo sea cubierto con los nutrientes presentes en pastos tropicales adecuadamente manejados. Además, se da por hecho que los animales toleran adecuadamente las parasitosis y tienen inmunidad a las enfermedades propias del manejo y del comportamiento del rebaño en pastoreo.

2. Alcanzar un nivel de eficiencia óptimo, resultado del balance entre la eficiencia biológica: producción, reproducción y calidad de los productos y la eficiencia económica: ingresos y costos.

Al realizar un análisis mayor de lo expuesto se puede señalar gran cantidad de características del animal que cumplirían con el objetivo de mejora genética; sin embargo, las mismas no necesariamente cumplirían con las premisas requeridas para incluirlas en un programa de selección; por ejemplo, mucha de la información necesaria en la mayoría de los casos no está registrada o peor aún, no existe acuerdo sobre la manera adecuada de registrarla, lo cual impide obtener tanto estimaciones de su variabilidad genética como de su importancia económica. Entre esas características se pueden mencionar:

- Habilidad de pastoreo.
- Tolerancia al calor.
- Tolerancia a la humedad.
- Tolerancia a la infestación parasitaria.
- Baja susceptibilidad a problemas podales.
- Alta productividad láctea.
- Alta eficiencia reproductiva.
- Alta cosecha de becerros.
- Baja mortalidad perinatal.
- Alta tasa de crecimiento.

La lista es aún mayor, pero no todas van a conformar el objetivo de selección. Conociendo que la eficiencia de la respuesta a la selección disminuye a medida que se incorporan características en el programa de mejoramiento, la situación deseable es incluir sólo aquellas que tienen mayor impacto sobre el beneficio económico; ello se debe compatibilizar con la situación real, que limita la definición del objetivo para aquellas características sobre las cuales existe información disponible. Además, por los efectos prácticos de este trabajo debemos limitarnos a aquellas características principales y las que más nos importan en referencia a los niveles de eficiencia biológica y económica. En ese orden de ideas se pudieran hacer dos consideraciones a grandes rasgos:

1. En primer lugar y por ser las que inciden directamente sobre la relación de ingresos y gastos incluiremos las **CARACTERÍSTICAS PRODUCTIVAS**: producción láctea, interesa una vaca que en las condiciones de pastoreo alcance mayor producción en un tiempo definido de sus lactancias, al igual que animales cuya tasa de crecimiento genere los máximos ingresos por venta de animales, tanto de descarte, como para la cría.

2. Por otra parte, pero no menos importante, están las **CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES**. Ellas son las que coadyuvan con las productivas para alcanzar niveles mayores de eficiencia, tales como la reproducción cuya eficiencia permite el incremento del inventario del rebaño, haciendo posible la selección de los mejores genotipos; la eficiencia alimenticia por la relación entre requerimientos para mantenimiento y los productivos. Estas características que junto con aquellas relacionadas a la salud animal podrían hacer que el animal permanezca mayor tiempo en el rebaño, pudieran ser englobadas en una sola característica, como vida productiva.

En resumen y sólo a manera de ejemplo, las características a incluir en el objetivo de selección pudieran ser:

- Producción a los 244 días de lactancia
- Peso adulto de vacas
- Días vacíos
- Duración de la vida productiva

CRITERIO DE SELECCIÓN

Representan las características por las cuales se hará la selección como componentes de la ecuación del Índice. Se deben elegir fundamentalmente por su correlación genética con aquellas incluidas en el objetivo de selección y por supuesto que tengan facilidad y disponibilidad de registros e información. En ese sentido tenemos para cada característica del objetivo los criterios siguientes:

Producción por lactancia. La producción acumulada ajustada a un número determinado de días (por ejemplo 244) constituye el criterio utilizado por excelencia para la selección de animales destinados a la producción de leche en sistemas de doble propósito.

Crecimiento. Son numerosos los criterios que pudieran emplearse, tales como peso al nacer, peso al destete, peso ajustado a los 205 días, peso a los 18 meses, peso al matadero, peso adulto, entre otros. En cualquier caso debemos estar conscientes que todos ellos pertenecen a la curva de crecimiento y al seleccionar por uno de ellos, estamos incidiendo sobre los demás; no obstante, como en este caso estamos considerando una modalidad vaca-maute, donde la vaca constituye el componente principal del rebaño, el *peso adulto* representa un criterio importante para la selección del crecimiento, ya que contribuirá a definir los costos por mantenimiento, a la vez que influirá sobre el nivel productivo del rebaño, y sobre los demás elementos de la curva de crecimiento, eso es, básicamente sobre el peso al nacimiento, la tasa de crecimiento y el inicio de la pubertad.

Reproducción. Es posible utilizar una gran cantidad de indicadores relativos a la eficiencia biológica de la reproducción. En sistemas de doble propósito es de gran importancia la continuidad de los eventos reproductivos, entre ellos los referidos a los intervalos entre partos y parto-concepción, los cuales están determinados por el período que la vaca permanece vacía o sean los *días vacíos*. Es necesario señalar que el índice de herencia de ésta y otras características reproductivas son muy bajos, lo que limita las posibilidades de obtener progreso genético al realizar selección por las mismas. Sin embargo, evaluaciones realizadas con metodología bayesiana sugieren que se requiere más investigación al respecto, de manera que a pesar de su bajo nivel de variabilidad genética los días vacíos deben ser incluidos como criterio de selección, en primer lugar por su valor económico alto y en segundo porque las correlaciones genéticas con las demás características incluidas en el criterio permite una mejor estimación.

Vida productiva. Para evaluar la permanencia de las vacas en el rebaño se han propuesto varios indicadores, entre ellos la longevidad, la cual se refiere al tiempo transcurrido entre el nacimiento y el momento en el cual el animal sale del rebaño, in-

dependientemente de la causa de salida. Se considera que este indicador es de índole muy general, pues no discrimina el tiempo en que el animal es efectivamente productivo y de los que representan una carga para el sistema. Por eso se prefiere sugerir y utilizar la vida productiva, definida como el período transcurrido entre el primer parto y el último secado.

En el caso específico de la selección en cada uno de los grupos etarios y cuando la eficiencia del movimiento del rebaño lo permita, la selección de hembras pudiera acometerse con índices a las edades que son de interés; solo cambiarían las fuentes de información y por supuesto las ponderaciones (b_i) del criterio para componer el índice, pues las mismas deberán derivarse dependiendo de las relaciones de (co)varianza genética entre los grupos que aportan información y aquel que se desea evaluar. A continuación se presentan algunos lineamientos que pueden orientar la implementación de tales estrategias:

Hembras sin la primera lactancia. La selección de hembras antes de concluida la primera lactancia, incluso desde el momento en que se conozca su sexo, podría hacerse con un índice de selección conformado con medidas repetidas de la producción ajustada a 244 días en cada lactancia y los días vacía; así como medidas únicas de peso adulto y vida productiva. Se emplearían como fuentes de información la madre, medias hermanas y otros parientes colaterales, dependiendo de la estructura de los datos disponibles.

Hembras con una y más lactancias. Estas presentan la ventaja adicional de poder suministrar los datos propios, que aportan la mejor calidad de información posible, además que en algunos casos de vacas consideradas élite pudieran aportar los datos de sus propias hijas.

VALORES ECONÓMICOS

En el contexto de la mejora genética el valor económico (peso o ponderación) es definido como el efecto sobre el beneficio económico como producto del incremento de una unidad marginal en el mérito genético de esa característica, independientemente de cambios en las otras características constituyentes del objetivo de selección (Weller, 1994).

Los valores económicos se pueden derivar al utilizar el denominado enfoque normativo o “simulación de datos” el cual consiste en desarrollar un modelo de simulación bio-económica con parámetros técnicos, económicos y niveles de producción representativos de la población estudiada. Se utiliza este enfoque cuando el sistema de producción considerado involucra relaciones complejas entre las características biológicas y los factores de producción, las cuales no pueden ser descritos por una ecuación simple.

Otro enfoque es el llamado positivo o de “evaluación de datos”. Consiste en obtener la ecuación de producción y por derivación parcial se obtienen los valores económicos de las características consideradas. Su mayor inconveniente consiste en el uso de precios históricos; mientras que la mejora genética tiene una orientación a futuro, el normativo ofrece más ventajas a la hora de considerar un número mayor de

elementos, factores del sistema de producción, relaciones y reacciones ante un cambio en el mérito genético.

PROPUESTAS PARA CONFORMAR EL ÍNDICE DE SELECCIÓN

Supongamos el caso sencillo donde se van a utilizar datos propios de vacas para las cuatro características: Producción ajustada a 244 d (P244) (l); Días vacíos (DV) (d); Peso adulto (PA) (kg) y Vida productiva (VP) (años). Las características en el objetivo y el criterio de selección son las mismas.

Es conveniente advertir que si los datos están representados de manera escalar, los coeficientes del método presente se pueden hallar por la resolución del sistema de ecuaciones que resulta. Sin embargo, cuando el número de características es de tres o más, la resolución del sistema de ecuaciones se hace más complicado, razón por lo cual la misma información puede organizarse de manera matricial, lo que permite poder resolverla con menor grado de dificultad a través del uso del álgebra lineal, para lo cual existen diversos programas de cómputo.

Para proceder es necesario que algunos datos estén disponibles, tales como valores económicos, varianzas fenotípicas, varianzas genéticas, índices de herencia, correlaciones fenotípicas y genéticas. Todos ellos deben ser obtenidos en la población objeto de mejoramiento genético; en caso contrario, el uso de datos disponibles en otras poblaciones pueden en principio ser de utilidad.

En este caso, para efectos demostrativos y dada la escasez de datos publicados, los valores económicos y parámetros genéticos utilizados (Cuadros 1 y 2) fueron aproximados tomando como referencia algunos valores presentados en la literatura (Aran-guren-Méndez *et al.*, 2006; Yáñez *et al.*, 2006) además de aquellos publicados por la Asociación Australiana para el Avance del Mejoramiento y la Genética Animal (2007) <http://www.gparm.csiro.au/>. De manera que es necesario insistir que el propósito de los mismos es meramente didáctico, por lo cual no pueden ser utilizados como referencia del comportamiento de los parámetros en población alguna de animales mestizos en un sistema de producción doble propósito.

Cuadro 1
Valores económicos relativos, varianzas, desviaciones estándar e índices de herencia de características en ganado de doble propósito

Características	Valor económico Relativo	Fenotipo		Genotipo Aditivo		Índice de herencia	
		σ_P^2	σ_P	σ_G^2	σ_G	h^2	h
Producción a 244 d (l)	0,0049	64516,2345	254,0005	14193,5716	119,1367	0,22	0,4690
Vida productiva (años)	1,1401	9,1555	3,0258	0,6409	0,8006	0,07	0,2646
Peso adulto (kg)	-0,0130	631,4063	25,1278	315,7032	17,7680	0,50	0,7071
Días vacía (d)	0,3028	919,3327	30,3205	18,3867	4,2880	0,02	0,1414

Cuadro 2
Correlaciones fenotípicas y genéticas de características en Ganado de doble propósito*

Características	P244	VP	PA	DV
Producción a 244 d P244 (l)		0,73	-0,45	0,65
Vida productiva VP (años)	0,43		-0,39	-0,83
Peso adulto PA (kg)	-0,09	0,01		0,21
Días vacía DV (d)	0,42	-0,65	0,12	

r_p : correlaciones fenotípicas arriba de la diagonal. r_g : correlaciones genéticas abajo de la diagonal.

Es necesario además, contar con las covarianzas fenotípicas y genéticas entre las características, que podrían obtenerse con los mismos programas de estimación de componentes de varianza o al disponer de las varianzas y las correlaciones, proceder a calcularlos a partir de las expresiones siguientes:

Covarianza fenotípica entre dos características (1 y 2)

$$\sigma_{P12} = r_{P12} \cdot \sigma_{P1} \cdot \sigma_{P2}$$

P : Matriz de varianza-covarianza fenotípica, en la diagonal están las varianzas y las covarianzas arriba y abajo de la diagonal, P es una matriz simétrica.

$$P = \begin{bmatrix} \overbrace{P244} & \overbrace{P244} & \overbrace{VP} & \overbrace{PA} & \overbrace{DV} \\ \underbrace{P244} & 64516,23 & 561,04 & -2872,11 & 5005,92 \\ \underbrace{VP} & 561,04 & 9,15 & -29,65 & -76,14 \\ \underbrace{PA} & -2872,11 & -29,65 & 631,40 & -159,99 \\ \underbrace{DV} & 5005,92 & -76,14 & 159,99 & 919,33 \end{bmatrix}$$

Covarianza genética entre dos características (1 y 2)

$$\sigma_{G12} = r_{G12} \cdot h_1 \cdot h_2 \cdot \sigma_{G1} \cdot \sigma_{G2}$$

G : Matriz de varianza-covarianza genética, en la diagonal están las varianzas y las covarianzas se ubican arriba y abajo de la diagonal, G es una matriz simétrica.

$$G = \begin{bmatrix} \overbrace{P244} & \overbrace{P244} & \overbrace{VP} & \overbrace{PA} & \overbrace{DV} \\ \underbrace{P244} & 14193,57 & 5,08 & -63,18 & 14,22 \\ \underbrace{VP} & 5,08 & 0,64 & 0,02 & -0,08 \\ \underbrace{PA} & -63,18 & 0,02 & 315,70 & 0,91 \\ \underbrace{DV} & 14,22 & -0,08 & 0,91 & 18,38 \end{bmatrix}$$

a : Vector de valores económicos

$$a' = \begin{bmatrix} \overbrace{P244} & \overbrace{VP} & \overbrace{PA} & \overbrace{DV} \\ 0,0049 & 1,1401 & -0,0130 & 0,3028 \end{bmatrix}$$

GENOTIPO AGREGADO

$$H = G.a$$

ÍNDICE DE SELECCIÓN

$$I = P.b$$

b : Vector de coeficientes del Índice de Selección

$$\mathbf{b}' = \begin{bmatrix} \overset{P244}{\widehat{b}_1} & \overset{VP}{\widehat{b}_2} & \overset{PA}{\widehat{b}_3} & \overset{DV}{\widehat{b}_4} \end{bmatrix}$$

Para obtener las soluciones a los coeficientes del Índice de Selección, igualamos las ecuaciones del Índice de Selección con la del Genotipo Agregado, se tiene:

$$I = \widehat{H}$$

$$P.b = \widehat{G}.a$$

$$b = P^{-1}\widehat{G}.a$$

$$b = \begin{bmatrix} 64516,23 & 561,04 & -2872,11 & 5005,92 \\ 561,04 & 9,15 & -29,65 & -76,14 \\ -2872,11 & -29,65 & 631,40 & -159,99 \\ 5005,92 & -76,14 & 159,99 & 919,33 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 14193,57 & 5,08 & -63,18 & 14,22 \\ 5,08 & 0,64 & 0,02 & -0,08 \\ -63,18 & 0,02 & 315,70 & 0,91 \\ 14,22 & -0,08 & 0,91 & 18,38 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,0049 \\ 1,1401 \\ -0,0130 \\ 0,3028 \end{bmatrix}$$

Luego de realizar las operaciones respectivas del álgebra matricial y de un cambio de escala se obtuvieron los coeficientes siguientes:

$$b' = [1,1938 \quad 3,1456, \quad -0,8938 \quad -0,0674]$$

Por la estructura de varianzas y covarianzas, así como por los valores económicos de los datos empleados, se puede notar que los coeficientes asignan una mayor importancia al comportamiento de la vida productiva de los animales, seguida de la producción a los 244 días y al ser ambos de signo positivo, premian al animal con registros superiores al promedio. Se observa que el valor del coeficiente para días vacía es mucho menor que los demás, posiblemente por lo bajo de su heredabilidad; también es preciso resaltar que el signo negativo de los coeficientes para peso adulto y días vacía, impone una penalización a aquella hembra con valores superiores al promedio.

Los coeficientes del vector b son los que maximizan la correlación entre el Índice de Selección y el Genotipo Agregado, lo que a su vez permite obtener el beneficio económico óptimo. Lo anterior es equivalente a decir, que al seleccionar por las características del Índice de Selección se obtiene la respuesta máxima en las características que componen el objetivo de selección o Genotipo Agregado, que en este caso son las mismas, y consecuentemente se optimiza el beneficio económico de la función de producción que considera tales características.

Con esos coeficientes se conforma el Índice de Selección, con el cual se evaluarán las vacas a seleccionar, cada una de las cuales tendrá un valor de Índice consolidado en un número único, producto de sus propios datos desviados de las medias respectivas, como se indica a continuación:

$$I = (X_{P244} - \bar{X}_{P244})1,1938 + (X_{VP} - \bar{X}_{VP})3,1456 - (X_{PA} - \bar{X}_{PA})0,8938 - (X_{DV} - \bar{X}_{DV})0,0674$$

UN EJEMPLO DE APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE SELECCIÓN

Supongamos que las vacas que se muestran a continuación requieren ser seleccionadas con el Índice obtenido previamente.

Características	VACAS					Media
	A	B	C	D	E	
Producción a 244 días	1300	1780	1467	1600	1525	1500 l
Vida productiva	3	4	4	7	6	6 años
Peso adulto	390	380	411	530	420	420 kg
Días vacía	75	84	123	99	85	92 d

Luego de aplicarle a los datos de cada vaca el Índice encontrado resultan los valores que se muestran a continuación, los cuales además permiten ordenar los animales por su mérito genético combinado con el valor económico para cada una de las características como se muestra en la línea inferior. Se puede notar en dichos resultados que sólo la vaca A muestra un valor de Índice negativo, que las vacas C y D aún cuando poseen buena producción diaria de leche, tienen una combinación desfavorable entre peso adulto y días vacía, lo cual desmejora su evaluación. Por otra parte, de haber hecho la selección por cada una de las características no hubiese sido posible llegar a estos mismos resultados.

	VACAS				
	A	B	C	D	E
Índice	-226,43	1792,24	1388,24	1451,70	1458,3
Orden	5°	1°	4°	3°	2°

CONCLUSIONES

Al desarrollar este ejemplo se demuestra la posibilidad de la aplicación de la metodología del índice de selección. En este escrito se dan algunos elementos que apoyan dicha posibilidad. El ejemplo que se presenta es de tipo didáctico y en ningún momento se ha pretendido presentar una solución práctica aplicable a sistema de producción alguno, a condiciones ambientales o programas de manejo, lo cual necesariamente requerirá del trabajo minucioso entre investigadores y productores bajo condiciones específicas.

Es conveniente recalcar la necesidad de investigación en el área de valores económicos, así como en la de parámetros genéticos de características de importancia en poblaciones mestizas. Así mismo es importante señalar la derivación de Índices de Selección que incluyan información de medidas repetidas, así como de otros animales relacionados, a la vez de cambiar al esquema de Índices de Selección sobre la base de valores de cría.

LITERATURA CITADA

- Aranguren-Méndez J, Román-Bravo R, Villasmil-Ontiveros Y, Chirinos Z, Romero J, Soto-Belloso E. 2006. Componentes de (co)varianza y parámetros genéticos para características de crecimiento en animales mestizos de doble propósito. *Revista Científica FCV-LUZ XVI* (1):55-61.
- Asociación Australiana para el Avance del Mejoramiento y la Genética Animal. 2007. <http://www.gparm.csiro.au/> [Accesado el 10-12-2007]
- Blake R. 1984. Considerations in multiple trait evaluation. *J Dairy Sci* 67(7):1554-1566.
- Dickerson G. 1978. Animal size and efficiency: Basic concepts. *Anim Prod* 27:367-379.
- Harris D, Newman S. 1994. Breeding for profit: Synergism between genetic improvement and livestock production (A Review). *J Anim Sci* 72:2178-2200.
- Hazel L. 1943. The genetic basis for constructing selection indexes. *Genetics* 28:476-490.
- Hazel L, Luz J. 1942. The efficiency of three methods of selection. *J Hered* 33:393-399.
- Klosterman E. 1972. Beef cattle size for maximum efficiency. *J Anim Sci* 34:875-880.
- Lee C, Pollak J. 2002. Genetic antagonism between body weight and milk production in beef cattle. *J Anim Sci* 80 (2):316-321.
- Meyer K, Carrick M, Donnelly B. 1994. Genetic parameters for milk production of Australian beef cows and weaning weight of their calves. *J Anim Sci* 72:1155-1165.
- Ponzoni R, Newman S. 1989. Developing breeding objectives for Australian beef cattle production. *Anim Prod* 49:35-47.
- Rauw W, Kanis E, Noordhuize-Stassen E, Grommers F. 1998. Undesirable side effects of selection for high production efficiency in farm animals: a review. *Livest Prod Sci* 56:15-33.
- Schneeberger M, Barwick S, Crow G, Hammond K. 1992. Economic indices using breeding values predicted by BLUP. *J Anim Breed Genet* 109:180-187.
- Weller J. 1994. *Economic Aspects of Animal Breeding*. Chapman & Hall. London, UK. 244 pp.
- Yáñez L. 2005. Índice de Selección: Sugerencias para su Utilización. En: *Manual de Ganadería Doble Propósito*. C. González-Stagnaro, E. Soto-Belloso (eds.). Edic. Astro Data S.A. Sección Genética II: 106-110.
- Yáñez L, Aranguren-Méndez J, Villasmil-Ontiveros Y, Rojas N, Chirinos Z, Ordóñez J. 2006. Modelo bioeconómico de simulación para orientar la definición del objetivo de selección en el sistema doble propósito. *Revista Científica FCV-LUZ XVI* (4):381-392.